

## Pengaruh jenis aktivator terhadap nilai kapasitansi elektroda karbon dari tempurung kelapa

### *The influence of activator types on the capacitance value of carbon electrodes from coconut shell*

Received 09 December 2021  
Accepted 29 January 2022  
Published April 2022

**Heri Rahmat Suryadi\*, Irmawati, Rustan Ruslan, Nur Afrianah, Al Irsyad, Jasruddin, dan Abdul Haris**

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik karbon aktif dalam aplikasi elektroda karbon dari tempurung kelapa serta pengaruh jenis dari aktivator yang digunakan terhadap kapasitansi elektroda karbon dari tempurung kelapa. Karbon yang telah diperoleh dari tempurung kelapa diproses hingga mencapai ukuran 300 mesh. Karbon tersebut kemudian diaktivasi dengan beberapa aktivator seperti HCl, NaOH dan  $K_2CO_3$  dengan perbandingan 1:1. Karbon yang telah diaktivasi selanjutnya dikeringkan dengan oven kemudian dilakukan pencucian hingga netral. Karbon aktif kemudian dipelet menjadi elektroda dalam tekanan 8 ton lalu selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi dan densitas serta pengujian *Cyclic Voltammetry*. Hasil pengukuran dimensi diperoleh nilai densitas dari CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> dan AC<sub>3</sub> masing-masing 0,794 g/cm<sup>3</sup>, 0,610 g/cm<sup>3</sup>, 0,649 g/cm<sup>3</sup> dan 0,731 g/cm<sup>3</sup>. Selanjutnya hasil pengujian *Cyclic Voltammetry* diperoleh data kapasitansi spesifik, energi spesifik dan daya spesifik. Nilai kapasitansi spesifik dari CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> dan AC<sub>3</sub> adalah masing-masing 0,361011 F/g, 0,33898 F/g, 3,38583 F/g dan 4,461538 F/g. Lalu nilai rapat energi dari CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> dan AC<sub>3</sub> adalah masing-masing 0,045126 Wh/kg, 0,042373 Wh/kg, 0,423228 Wh/kg dan 0,557692 Wh/kg. Kemudian nilai rapat daya dari CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> dan AC<sub>3</sub> adalah masing-masing 0,216606 W/kg, 0,196721 W/kg, 2,186441 W/kg dan 2,676923 W/kg.

**Abstract.** This study aims to determine the characteristics of activated carbon in the application of carbon electrodes from coconut shells and the influence of the type of activator used on the capacitance of carbon electrodes from the coconut shell. The carbon that has been obtained from the coconut shell is processed up to 300 mesh in size. The carbon is then activated with several activators such as HCl, NaOH and  $K_2CO_3$  with a ratio of 1:1. Activated carbon is then dried in an oven then washed to neutral. Activated carbon is then pelleted into electrodes under a pressure of 8 tons, which is then tested by *Cyclic Voltammetry*. Activated carbon is then pelleting be electrodes under a pressure of 8 tons and then measurements of dimensions & densities and done testing by *Cyclic Voltammety*. Dimension measurement results obtained density values from CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> and AC<sub>3</sub> are 0,794 g/cm<sup>3</sup>, 0,610 g/cm<sup>3</sup>, 0,649 g/cm<sup>3</sup> dan 0,731 g/cm<sup>3</sup> respectively. Furthermore, the results of the *Cyclic Voltammetry* test obtained data on specific capacitance, specific energy and specific power. Specific capacitance values of CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> and AC<sub>3</sub> are respectively 0.361011 F/g, 0.33898 F/g, 3.38583 F/g and 4.461538 F/g. Afterwards the energy density values of CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> and AC<sub>3</sub> are respectively 0.045126 Wh/kg, 0.042373 Wh/kg, 0.423228 Wh/kg and 0.557692 Wh/kg. Then the power density values of CSC, AC<sub>1</sub>, AC<sub>2</sub> and AC<sub>3</sub> are respectively 0.216606 W/kg, 0.203390 W/kg, 2.031496 W/kg and 2.676923 W/kg.

**Keywords:** Activated carbon, density, energy density, power density, specific capacitance;

#### Pendahuluan

Superkapasitor adalah salah satu dari piranti elektronik yang dapat menyimpan energi listrik. Superkapasitor lebih unggul dalam berbagai hal dari piranti elektronik lainnya seperti baterai, aki dan kapasitor konvensional. Superkapasitor memiliki daya penyimpanan yang lebih besar (Vangari, Pryor, & Jiang, 2013), waktu hidup yang lebih lama (Zhu et al., 2017), tingkat pengisian/pengosongan yang cepat, serta memiliki kekuatan spesifik dan kepadatan energi yang tinggi (G. Zhang, Chen, Chen, & Guo, 2018). Sama seperti kapasitor konvensional, komponen superkapasitor terdiri atas dua buah keping plat elektroda dengan sebuah separator yang tipis sebagai pemisah plat elektroda (Vangari et al., 2013). Prinsip dasar dari superkapasitor sama seperti pada kapasitor konvensional, yang mana kapasitansi dari

elektroda dipengaruhi oleh luas permukaan serta jarak antar muatan dari elektroda karbon superkapasitor.

Nilai kapasitansi dari elektroda superkapasitor dapat lebih besar dibanding dengan elektroda kapasitor konvensional dikarenakan luas permukaan pada elektroda karbon dari superkapasitor lebih besar bila dibandingkan dengan kapasitor konvensional serta memiliki jarak antarmuatan yang sangat kecil. Dalam perkembangannya, elektroda berbahan karbon aktif lebih banyak dilakukan karena biaya pembuatan yang relatif murah, memiliki luas permukaan yang tinggi, serta bahan pembuatannya juga dapat diperoleh dari alam seperti biomassa yang jarang dimanfaatkan (Sevilla & Mokaya, 2014), seperti jerami padi (Horax, Bao, Wang, & Li, 2017), sekam padi (Teo et al., 2016), tempurung kelapa (Taer, Oktaviani, Taslim, & Farma, 2015) dan biomassa lainnya.

Tempurung kelapa adalah salah satu bagian dari buah kelapa yang keras dengan ketebalan 4 mm. Suryaningsih & Nurhilal (2018), menjelaskan bahwa dalam satu buah kelapa maka terdapat 12% tempurung kelapa sehingga jumlah tempurung kelapa di Indonesia pada tahun 2021 adalah sebanyak 337.428 ton (BPS Indonesia, 2021). Jumlah tempurung kelapa sangatlah melimpah namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Tempurung kelapa mengandung 49.62% karbon, 42.75% Oksigen, 7.31% hidrogen dan 0.22% nitrogen. Setelah dilakukan proses karbonisasi, kandungan karbon dari tempurung kelapa mengalami peningkatan menjadi 64.87% kemudian bertambah menjadi 80.13% setelah dilakukan proses aktivasi sehingga berpotensi tinggi untuk menjadi karbon aktif (Iqbaldin et al., 2013). Kandungan karbon dari tempurung kelapa tersebut sesuai dengan sifat suatu bahan biomassa agar bisa dijadikan sebagai karbon aktif, seperti (Bergna, Varila, Romar, & Lassi, 2018): (i) kandungan karbon yang tinggi, (ii) bahan murah, (iii) stabilitas pasokan dari suatu negara.

Dalam pembuatan karbon aktif, karbon yang telah diperoleh dilakukan aktivasi, baik melalui aktivasi fisika, aktivasi kimia maupun aktivasi kimia fisika. Aktivasi fisika dapat dilakukan dengan pengkarbonisasian pada bahan dasar dengan suhu dibawah 700 °C kemudian diaktivasi dengan gas pengoksidasi pada suhu tinggi (Demiral, Demiral, Karabacakoglu, & Tımsek, 2011). Sedangkan untuk aktivasi kimia dapat dilakukan dengan pencampuran antara karbon yang diperoleh dengan larutan kimia sebagai aktivator seperti KOH (Zhu et al., 2017), NaOH (Le Van & Luong Thi, 2014), HNO<sub>3</sub> (Arif, Taer, & Farma, 2014) dan larutan kimia yang lainnya.

Penggunaan larutan kimia dalam proses aktivasi karbon aktif banyak dilakukan dikarenakan lebih unggul bila dibandingkan dengan proses aktivasi secara fisika (Sevilla & Mokaya, 2014; Wang & Kaskel, 2012). Beberapa keunggulan tersebut adalah: (i) suhu aktivasi yang rendah, (ii) luas permukaan yang diperoleh bisa mencapai 3600 m<sup>2</sup>/g, (iii) mikroporositas dapat dikontrol dan didistribusikan dengan baik, dan (iv) waktu aktivasi yang cepat. Beberapa peneliti sebelumnya telah menggunakan aktivasi kimia dalam proses pembuatan karbon aktif, seperti yang dilakukan oleh Yagmur, Ozmak, & Aktas, (2008) yang telah memproduksi karbon aktif dari limbah teh dengan larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, kemudian H. Zhang, Yan, & Yang, (2010) membuat karbon aktif dari serbuk gergaji dengan ZnCl<sub>2</sub>, serta Liu et al., (2018), memanfaatkan KOH sebagai aktivator dalam pembuatan magnetic karbon aktif. Dari hasil penelitian-penelitian tersebut telah menjelaskan bahwa jenis larutan aktivator yang digunakan berpengaruh terhadap kualitas dari karbon aktif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik karbon aktif dan mendeskripsikan pengaruh jenis aktivator yang digunakan terhadap kapasitansi elektroda karbon dari tempurung kelapa.

## Metodologi

### *Alat dan Bahan*

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa, aquadest, indikator universal serta *Polyvinyl alcohol* (PVA), larutan HCl, NaOH serta larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kualitas analitis dengan konsentrasi masing-masing larutan sebesar 3M. Karbon yang diaktivasi dengan menggunakan larutan HCl selanjutnya akan disebut AC1, karbon dengan larutan NaOH disebut AC2, karbon dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> disebut AC3 serta yang karbon tidak diaktivasi akan disebut CSC. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ayakan, *furnace*, mortar dan pastel, *oven*, *hot plate magnetic stirrer*, gelas *beaker*, *sentrifuge*, tabung *sentrifuge*, *crucible*, batang pengaduk, termometer dan pipet tetes.

### *Pembuatan Elektroda Karbon*

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan elektroda karbon yakni dengan menghancurkan tempurung kelapa menjadi granula kemudian dicuci hingga bersih lalu dijemur hingga kering di bawah sinar matahari. Selanjutnya dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam. Kemudian digerus hingga halus lalu diayak dengan ayakan 300 mesh dan 400 mesh. Penggunaan ayakan 400 mesh dimaksudkan untuk mengontrol ukuran sebesar 300 mesh. Setelah itu, karbon yang telah halus dicampurkan pada larutan aktivator dengan rasio 1:1 dan diaduk pada suhu 80°C selama 1 jam. Larutan tersebut masing – masing HCl, NaOH dan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Selanjutnya dipanaskan dengan *oven* pada suhu 130°C selama 4 jam. Kemudian dilakukan pencucian dengan aquades hingga pH air hasil pencucian menjadi netral (pH≈7) lalu dikeringkan pada suhu 120°C selama 4 jam (Kwagher & Ibrahim, 2013; Le Van & Luong Thi Thu, 2019).

Selanjutnya dilakukan pembuatan pelet elektroda dari bahan karbon aktif yakni dengan mencampurkan karbon aktif dan 5% *Polyvinyl alcohol* (PVA) lalu di aduk hingga menjadi pasta. Kemudian dicetak pada silinder berdiameter 2 cm serta diberikan tekanan sebesar 8 ton. Lalu pelet elektroda dikeringkan di dalam *oven* pada suhu 110°C selama 24 jam. Pelet elektroda karbon dipreparasi kemudian dilakukan pengukuran dimensi dan densitas dengan metode pengukuran berulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh deviasi dari hasil pengukuran. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat elektrokimia dari elektroda karbon. Prosedur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

### *Pengujian sifat elektrokimia*

Pengujian sifat elektrokimia dari elektroda karbon dilakukan dengan menggunakan instrumen Physics CV UR Rad-Er 5841 yang pengujiannya meliputi hubungan antara arus dan tegangan. *Cyclic Voltametry* (CV) merupakan teknik yang biasa digunakan dalam menganalisa sifat elektrokimia dari suatu sampel, misalnya nilai kapasitansi (Gomaa, Morsi, Negm, & Sherif, 2017). Dalam hal ini, *Cyclic Voltametry* (CV)

dilakukan dalam menganalisis nilai kapasitansi yang dapat ditampung oleh sampel elektroda karbon. Pengukuran CV dilakukan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik serta nilai daya spesifik dari sel superkapasitor. Nilai kapasitansi spesifik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Taer, Taslim, Aini, Hartati, & Mustika, 2017):

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{s \times m} \quad (1)$$

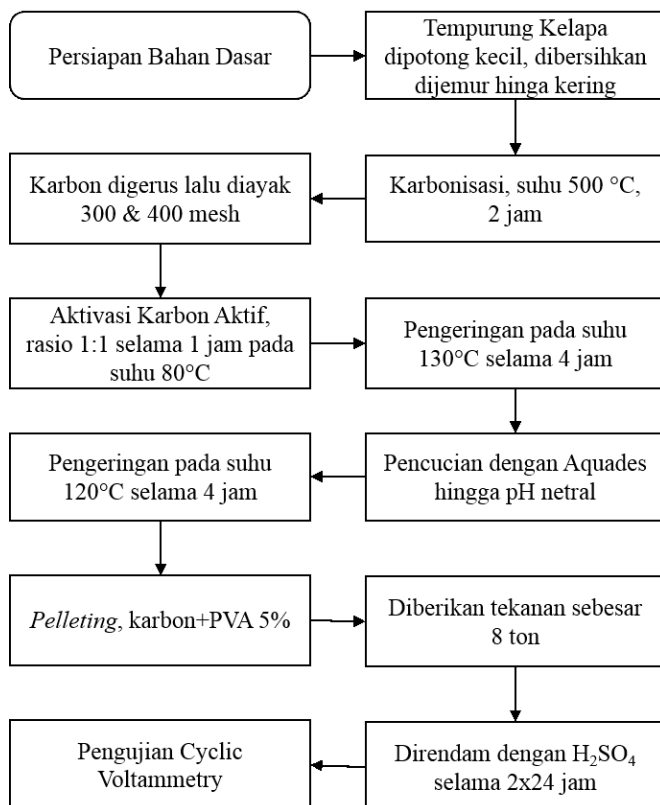
Dimana;  $C_{sp}$ : Kapasitansi spesifik (F/g),  $s$ : Laju scan (mV/s),  $m$ : massa total karbon (g),  $I_c$ : Arus charger (A),  $I_d$ : Arus discharge (A).

Chen et al. (2018), menuliskan bahwa rapat energi dan rapat daya dari superkapasitor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{C_{sp} \Delta V^2}{2} \quad (2)$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (3)$$

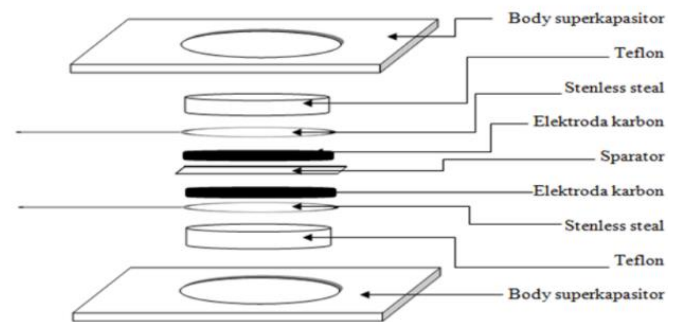
Dimana;  $E$ : Rapat Energi (Wh/kg),  $C_{sp}$ : Kapasitansi spesifik (F/g),  $\Delta V$ : Jendela tegangan (V),  $P$ : Rapat Daya (W/kg),  $\Delta t$ : waktu *dicharger* (s).



Gambar 1. Bagan alur prosedur kerja penelitian

Sebelum pengujian, dilakukan pemolesan dan perendaman sampel elektroda karbon aktif dalam larutan elektrolit  $H_2SO_4$  dengan konsentrasi 1 M selama 2x24 jam agar cacat dari permukaan sampel bisa berkurang serta kemurnian dari sampel karbon aktif dapat meningkat.

Selanjutnya elektroda karbon tersebut dirakit ke dalam badan superkapasitor yang berbentuk persegi dengan bagian tengah yang berlubang. Pengumpul arus dari stainless steel dengan ukuran diameter yang sama dengan elektroda digabungkan kemudian dilapisi dengan teflon yang dimana antarelektroda dipisahkan oleh sebuah separator. Skema dari superkapasitor yang dirakit mengikuti Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema dari superkapasitor (Muchammadsam, Taer, & Farma, 2015)

## Hasil Penelitian

### Dimensi dan Densitas

Hasil dari pengukuran dimensi dan massa pada pelet elektroda karbon dari karbon aktif tempurung kelapa ditunjukkan pada Tabel 1 dan hasil perhitungan volume dan densitas ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Dimensi pada Sampel

| Kode Sampel     | d (mm)          | t (mm)          | m (mg)         |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| CSC             | $8,22 \pm 0,15$ | $0,33 \pm 0,03$ | $13,9 \pm 0,2$ |
| AC <sub>1</sub> | $8,64 \pm 0,18$ | $0,33 \pm 0,04$ | $11,8 \pm 0,2$ |
| AC <sub>2</sub> | $8,69 \pm 0,51$ | $0,33 \pm 0,06$ | $12,7 \pm 0,2$ |
| AC <sub>3</sub> | $8,69 \pm 0,40$ | $0,30 \pm 0,09$ | $13,0 \pm 0,2$ |

Tabel 2. Densitas pada sampel

| Kode Sampel     | Massa (mg)     | Volume ( $10^{-3} \text{ cm}^3$ ) | Densitas ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|-----------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| CSC             | $13,9 \pm 0,2$ | $17,50 \pm 2,23$                  | $0,794 \pm 0,11$             |
| AC <sub>1</sub> | $11,8 \pm 0,2$ | $19,33 \pm 3,15$                  | $0,629 \pm 0,11$             |
| AC <sub>2</sub> | $12,7 \pm 0,2$ | $19,56 \pm 5,85$                  | $0,649 \pm 0,20$             |
| AC <sub>3</sub> | $13,0 \pm 0,2$ | $17,78 \pm 6,97$                  | $0,731 \pm 0,29$             |

Berdasarkan dari data yang ditunjukkan pada tabel 2, dapat dilihat bahwa massa tertinggi diperoleh pada sampel CSC dengan nilai sebesar  $m = 13,9 \pm 0,2$  mg kemudian diikuti oleh AC<sub>3</sub>, AC<sub>2</sub> dan AC<sub>1</sub> dengan nilai masing-masing  $m = 13,0 \pm 0,2$  mg,  $m = 12,7 \pm 0,2$  mg dan  $m = 11,8 \pm 0,2$  mg. Sampel yang telah dilakukan proses aktivasi dengan larutan kimia sebagai aktivator menghasilkan nilai massa yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang tidak diaktivasi. Kemudian volume terendah diperoleh pada sampel CSC dengan nilai  $V = 17,50 \pm 2,23 \text{ cm}^3$  dan volume tertinggi

diperoleh pada sampel AC2 dengan nilai  $V = |19,56 \pm 5,85| \text{ cm}^3$ . Sampel yang diaktivasi menggunakan larutan NaOH memiliki volume yang lebih besar dibandingkan dengan sampel yang diaktivasi dengan larutan HCl,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan sampel yang tidak dilakukan aktivasi. Data massa dan volume dari sampel tersebut selanjutnya diolah kembali sehingga diperoleh data densitas dari masing-masing sampel. Terlihat bahwa nilai densitas tertinggi diperoleh pada sampel CSC dengan nilai  $\rho = |0,794 \pm 0,11| \text{ g/cm}^3$  lalu diikuti oleh sampel AC<sub>3</sub> dan AC<sub>2</sub> dengan masing-masing nilai  $\rho = |0,731 \pm 0,29| \text{ g/cm}^3$  dan  $\rho = |0,649 \pm 0,20| \text{ g/cm}^3$  serta sampel AC<sub>1</sub> dengan nilai densitas terendah yaitu  $\rho = |0,629 \pm 0,11| \text{ g/cm}^3$ .

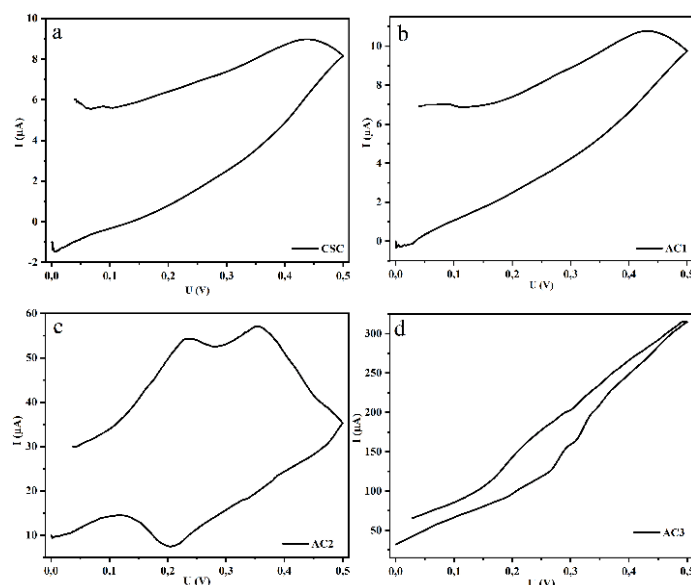
Faktor yang mempengaruhi nilai densitas dari sampel adalah pemilihan reagen kimia yang digunakan sebagai aktivator karena setiap reagen kimia memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda sehingga dapat mempengaruhi distribusi ukuran pori di dalam sampel. Nilai densitas yang menurun pada sampel yang telah diaktivasi disebabkan karena pembentukan sejumlah pori yang banyak dalam sampel sehingga kerapatan sampel menjadi menurun (Wang & Kaskel, 2012). Beda halnya dengan sampel yang tidak dilakukan proses aktivasi, memiliki nilai densitas yang tinggi dikarenakan jumlah pori-pori yang relatif sedikit bila dibandingkan dengan sampel yang mendapatkan pelakuan berupa proses aktivasi dengan menggunakan aktivasi kimia. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Taer, Ira, & Taslim, (2016), bahwa proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar ukuran diameter pori yang umumnya terbentuk mikropori dan beberapa mesopori.

### Cyclic Voltammetry

Pengujian CV merupakan salah satu metode pengukuran dalam menentukan sifat elektrokimia dari sampel elektroda superkapasitor. Pengujian CV dilakukan pada jendela potensial 0–500 mV serta dengan laju imbasan 1 mV/s yang menghasilkan data hubungan antara tegangan (V) dan arus (I). Pengujian CV melibatkan penerapan potensial pada elektroda seiring dengan perubahan waktu. Respon pemberian potensial yang dihasilkan oleh elektroda berupa nilai arus. Nilai arus yang dihasilkan ditentukan oleh pergerakan dan peresapan ion-ion di dalam pori elektroda. Bentuk dan ukuran pori elektroda sangat berpengaruh terhadap proses peresapan ion (Taer, Ira, et al., 2016). Pengujian sifat elektrokimia dengan metode CV menyebabkan terjadinya reaksi redoks (reaksi reduksi-oksidasi) dalam sampel elektroda akibat potensial listrik yang diberikan. Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian sifat elektrokimia dengan metode CV. Hasil pengujian menunjukkan bahwa elektroda karbon memiliki bentuk grafik yang berbeda. Zhang et al (2019) menjelaskan bahwa kurva CV yang lebih luas hingga berbentuk persegi panjang akan memiliki perilaku superkapasitor yang lebih baik, sehingga kurva CV pada

Gambar 3d memiliki nilai yang lebih baik dibanding dengan kurva CV yang lainnya.

Gambar 3a menunjukkan kurva hubungan antara tegangan (V) dan arus (I) dari hasil pengujian CV untuk sampel CSC. Plot kurva CV tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya puncak reduksi maupun oksidasi yang terbentuk. Dapat dilihat pula bahwa mula-mula dilakukan bias maju (arus *charge*) pada sampel CSC hingga mencapai tegangan maksimum sebesar  $V_{\text{maks}} = 0,5 \text{ V}$ . Adapun arus katodik yang mengalir adalah sebesar  $I = 8,042 \text{ mA}$ . Kemudian ketika terjadi bias mundur hingga mencapai tegangan minimum  $V_{\text{min}} = 0 \text{ V}$ , besar arus anodik yang mengalir adalah sebesar  $I = -1 \text{ mA}$ . Adapun besarnya nilai arus *charge* adalah sebesar  $I_c = 7 \text{ mA}$  dan arus discharge sebesar  $I_d = 2 \text{ mA}$ .



Gambar 3. Hasil Pengujian Cyclic Voltammogram

Selanjutnya gambar 3.b menunjukkan kurva hubungan antara tegangan (V) dan arus (I) dari hasil pengujian CV untuk sampel AC<sub>1</sub>. Pada kurva tersebut tidak terbentuk pula puncak reduksi dan puncak oksidasi. Pada sampel AC<sub>1</sub> ketika diberi bias maju hingga mencapai tegangan maksimum  $V_{\text{maks}} = 0,5 \text{ V}$ , arus katodik yang mengalir pada sampel elektroda sebesar  $I = 9,746 \text{ mA}$  dan ketika diberikan bias mundur hingga tegangan minimum  $V_{\text{min}} = 0 \text{ V}$ , arus katodik yang mengalir pada sampel elektroda sebesar  $I = 0 \text{ mA}$ . Adapun besarnya nilai arus *charge* adalah sebesar  $I_c = 8 \text{ mA}$  dan arus discharge sebesar  $I_d = 4 \text{ mA}$ .

Kemudian gambar 3.c menunjukkan kurva hasil pengujian CV dari sampel AC<sub>2</sub>. Pada kurva CV terlihat bahwa terbentuk adanya dua buah tegangan puncak reduksi setelah diberi bias maju yakni masing-masing pada tegangan  $V_1 = 0,237 \text{ V}$  dan  $V_2 = 0,355 \text{ V}$  dengan arus katodik yang mengalir masing – masing sebesar  $I_1 = 54,44 \text{ mA}$  dan  $I_2 = 57,17 \text{ mA}$ . Hingga tegangan mencapai nilai maksimum  $V_{\text{maks}} = 0,5 \text{ V}$ , arus yang mengalir sebesar  $I = 35,25 \text{ mA}$ . Lalu ketika diberikan bias mundur, terbentuk pula sebuah puncak oksidasi pada tegangan  $V = 0,204 \text{ V}$  dengan arus anodik yang mengalir sebesar  $I = 7,297 \text{ mA}$ .

Pada saat mencapai tegangan minimum  $V_{\min} = 0$  V arus anodik yang mengalir sebesar  $I = 1 \times 10^{-5}$  A. Adapun besarnya nilai arus *charge* adalah sebesar  $I_c = 54$  mA dan arus discharge sebesar  $I_d = 11$  mA.

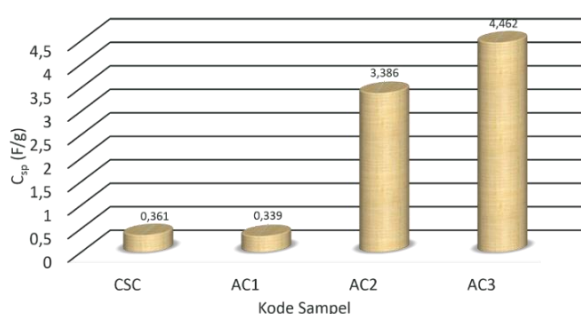
Selanjutnya gambar 3.d memperlihatkan kurva hasil pengujian pada sampel AC<sub>3</sub>. Kurva CV tersebut tidak menunjukkan adanya puncak reduksi maupun oksidasi yang terbentuk. Ketika diberikan bias maju hingga tegangan maksimum  $V_{\max} = 0,5$  V, arus katodik yang mengalir sebesar  $I = 296,5$  mA. Lalu ketika diberi bias mundur (*reverse scan*) hingga mencapai tegangan minimum  $V_{\min} = 0$  V, arus anodik yang mengalir sebesar  $I = 32$  mA. Adapun besarnya nilai arus *charge* adalah sebesar  $I_c = 178$  mA dan arus discharge sebesar  $I_d = 120$  mA.

Selanjutnya data hasil pengujian CV diolah dengan menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) sehingga diperoleh nilai Kapasitansi Spesifik (F/g), Rapat Energi (Wh/kg), Rapat Daya (W/kg) dari sampel elektroda karbon yang akan diuraikan sebagai berikut:

#### Kapasitansi Spesifik (F/g)

Kapasitansi Spesifik adalah jumlah nilai Farad dalam setiap gram sampel yang berarti bahwa kapasitansi spesifik itu menunjukkan nilai dari kapasitas penampungan energi yang dapat dimuat dalam tiap gram sampel (Khomeenko, Frackowiak, & Béguin, 2005). Gambar 4. menunjukkan nilai kapasitansi dari setiap sampel. Dari Gambar 4 terlihat bahwa nilai kapasitansi spesifik terbesar diperoleh pada sampel AC<sub>3</sub> yaitu sampel karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan nilai  $C_{sp} = 4,46154$  F/g. Kemudian nilai kapasitansi spesifik terendah diperoleh pada sampel AC<sub>1</sub> yaitu sampel karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan HCl dengan nilai  $C_{sp} = 0,33898$  F/g.

Nilai kapasitansi spesifik dari AC<sub>1</sub> lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai kapasitansi spesifik dari CSC yang dengan nilai  $C_{sp} = 0,36101$  F/g. Hal ini disebabkan oleh efek perlakuan asam pada sampel. Larutan asam klorida (HCl) memiliki sifat yang korosif sehingga aktivasi dalam jumlah berlebih dan dalam waktu yang lama dapat merusak hasil karbon (Kwagher & Ibrahim, 2013).



Gambar 4. Kapasitansi Spesifik pada sampel

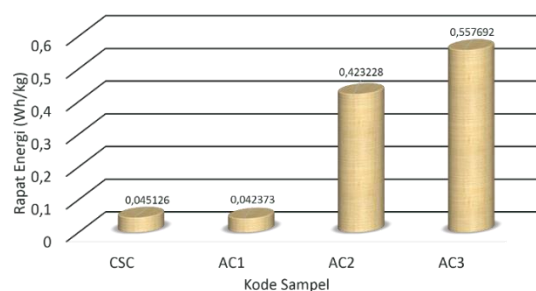
Perlakuan asam yang dilakukan pada karbon aktif dapat mengubah luas permukaan dan porositas dari

sampel karbon aktif. Faktor lain penyebab nilai kapasitansi spesifik AC<sub>1</sub> rendah dikarenakan sifat HCl yang bersifat higroskopis sehingga pembentukan tar yang terhambat dan menyumbat mesopori dan mikropori yang terkandung dalam sampel (Ilomuanya, Nashiru, Ifudu, & Igwilo, 2017). Le Van & Luong Thi (2014), mengemukakan bahwa struktur pori dari sampel karbon aktif memiliki peran penting dalam menentukan nilai kapasitansi spesifik dari sampel karbon aktif.

#### Rapat Energi (Wh/kg)

Rapat energi merupakan besarnya energi yang terkandung dalam suatu sampel persatuan massa. Gambar 5 menunjukkan nilai rapat energi pada setiap sampel. Berdasarkan pada Gambar 5. tersebut terlihat bahwa sampel AC<sub>3</sub> yang merupakan karbon aktif dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai aktivator memiliki nilai rapat energi tertinggi yakni sebesar 0,557692 Wh/kg dibanding dengan sampel yang lainnya. Kemudian nilai rapat energi terendah diperoleh pada sampel AC<sub>1</sub> yakni karbon aktif dengan larutan HCl sebagai aktivator dengan nilai rapat energi sebesar  $E = 0,042373$  Wh/kg.

Nilai rapat energi AC<sub>1</sub> yang rendah disebabkan oleh rendahnya nilai kapasitansi yang diperoleh. Hal ini dikarenakan besar volume pori-pori mikro yang terbentuk pada sampel elektroda meningkat dibandingkan dengan jumlah mesopori. Besarnya volume pori mikro pada sampel menyebabkan proses penyerapan ion-ion elektrolit menjadi terhambat (Taer, Zulkifli, Arif, & Taslim, 2016).

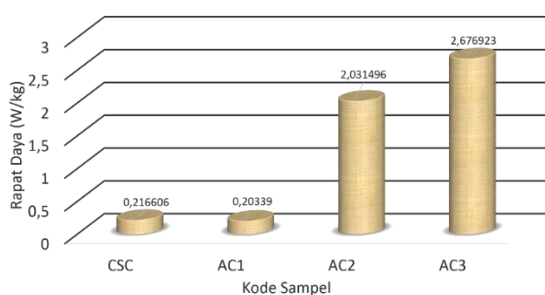


Gambar 5. Rapat energi pada sampel

#### Rapat Daya (W/kg)

Rapat daya adalah daya maksimum pada setiap satuan massa dari sampel yang diberikan dalam periode yang singkat (National Research Council, 2002). Gambar 6 menunjukkan nilai rapat daya dari setiap sampel. Dari gambar 6. tersebut, dapat dilihat bahwa rapat daya terbesar diperoleh pada sampel AC<sub>3</sub> yakni sampel karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai aktivator yang memiliki nilai rapat daya sebesar 2,676923 W/kg. Selanjutnya diikuti oleh sampel AC<sub>2</sub> yakni sampel yang diaktivasi dengan larutan NaOH sebagai aktivator dengan nilai rapat daya sebesar 2,031496 W/kg. Sedangkan rapat daya terendah diperoleh pada sampel AC<sub>1</sub> yakni sampel

karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan HCl sebagai aktivator dengan nilai rapat arus sebesar 0,203390 W/kg.



Gambar 6. Rapat daya pada sampel

Nilai energi dan daya yang dihasilkan terbatas dikarenakan adanya jalur difusi yang berliku-liku dalam tekstur berpori serta pengaruh resistansi yang kompleks (Yanti, Taer, & Sugianto, 2014). Suhu karbonisasi serta suhu aktivasi juga berperan dalam menghasilkan kinerja elektroda yang lebih baik (Farma et al., 2013).

### Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

Karakteristik karbon aktif untuk aplikasi elektroda karbon dari tempurung kelapa diperoleh berdasarkan analisis setelah dilakukan pengujian CV. Berdasarkan analisis CV dapat diperoleh bahwa elektroda karbon yang diaktivasi dengan larutan  $K_2CO_3$  memiliki sifat elektrokimia tertinggi. Sedangkan elektroda karbon yang diaktivasi dengan larutan HCl memiliki sifat elektrokimia terendah.

Terdapat perbedaan nilai kapasitansi spesifik, rapat energi, rapat daya dan densitas pada elektroda karbon dari karbon aktif tempurung kelapa. Berdasarkan hasil pengujian CV diperoleh nilai kapasitansi tertinggi pada AC3 yang ditandai dengan luas area kurva yang paling besar. Perbedaan nilai ini dikarenakan sifat dari setiap bahan kimia yang digunakan pada proses aktivasi kimia sehingga menghasilkan struktur pori yang terbentuk menjadi berbeda. Meskipun terdapat perbedaan nilai, namun tidak ada perbedaan yang cukup signifikan dari hasil pengukuran dimensi dan densitas masing-masing sampel. Perbedaan yang signifikan terlihat pada sifat elektrokimia dari sampel.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Staff laboratorium Mikrobiologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, staff laboratorium Kimia Universitas Negeri Makassar serta operator laboratorium Fisika Universitas Riau yang telah memberikan kesempatan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

### Referensi

Arif, E. N., Taer, E., & Farma, R. (2014) Pembuatan dan karakterisasi sel superkapasitor menggunakan karbon aktif monolit dari kayu karet berdasarkan variasi

konsentrasi  $HNO_3$ . *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam* 2(1): 49–55.

Bergna, D., Varila, T., Romar, H., & Lassi, U. (2018) Comparison of the properties of activated carbons produced in one-stage and two-stage processes. *C*. 4(3): 41.

BPS Indonesia. (2021) <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>

Chen, X., Liu, X., Liu, Y., Zhu, Y., Zhuang, G., Zheng, W., Cai, Z., et al. (2018) Advanced binder-free electrodes based on  $CoMn_2O_4@Co_3O_4$  core/shell nanostructures for high-performance supercapacitors. *RSC Advances*. 8(55): 31594–31602.

Demiral, H., Demiral, I., Karabacakoglu, B., & Tımsek, F. (2011) Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation. *Chemical Engineering Research and Design*. 89(2): 206–213.

Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, Talib, I. A., Omar, R., Manjunatha, J. G., Ishak, M. M., et al. (2013) Physical and electrochemical properties of supercapacitor electrodes derived from carbon nanotube and biomass carbon. *International Journal of Electrochemical Science*. 8(1): 257–273.

Gomaa, E. A., Morsi, M. A., Negm, A. E., & Sherif, Y. A. (2017) Cyclic voltammetry of bulk and nano manganese sulfate with doxorubicin using glassy carbon electrode. *International Journal of Nano Dimension*. 8(1): 89–96.

Horax, K. M., Bao, S., Wang, M., & Li, Y. (2017) Analysis of graphene-like activated carbon derived from rice straw for application in supercapacitor. *Chinese Chemical Letters*. 28(12): 2290–2294.

Ilomuanya, M. O., Nashiru, B., Ifudu, N. D., & Igwilo, C. I. (2017) Effect of pore size and morphology of activated charcoal prepared from midribs of *Elaeis guineensis* on adsorption of poisons using metronidazole and *Escherichia coli* O157:H7 as a case study. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*. 5(1): 32.

Iqbalidin, M. M., Mohd Iqbalidin, M., Khudzir, I., Mohd Azlan, M., Zaidi, A., Surani, B., & Zubri, Z. (2013) Properties of coconut shell activated carbon. *Journal of Tropical Forest Science*. 25(4): 497–503.

Khomenko, V., Frackowiak, E., & Béguin, F. (2005) Determination of the specific capacitance of conducting polymer/nanotubes composite electrodes using different cell configurations. *Electrochimica Acta*. 50(12): 2499–2506.

Kwagher, A., & Ibrahim, J. S. (2013) Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from mango nuts using HCl. *American journal of engineering research*. 2(7): 74–85.

Liu, Y., Huo, Z., Song, Z., Zhang, C., Ren, D., Zhong, H., & Jin, F. (2018) Preparing a magnetic activated carbon with expired beverage as carbon source and KOH as activator. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 96: 575–587.

Muchammadsam, I. D., Taer, E., & Farma, R. (2015) Pembuatan Dan karakterisasi karbon aktif monolit dari kayu karet dengan variasi konsentrasi KOH untuk aplikasi superkapasitor. *JOM FMIPA*. 2(1): 8–13.

National Research Council. (2002) *Combat Hybrid Power System Component Technologies: Technical Challenges*

- and Research Priorities. The National Academies Press. Washington, DC: The National Academies Press. Diambil dari <http://nap.edu/10595>
- Sevilla, M., & Mokaya, R. (2014) Energy storage applications of activated carbons: Supercapacitors and hydrogen storage. *Energy and Environmental Science*. **7**(4): 1250–1280.
- Suryaningsih, S., & Nurhilal, O. (2018) Sustainable energy development of bio briquettes based on rice husk blended materials: An alternative energy source. *Journal of Physics: Conference Series*. **1013**(1), 1–7.
- Taer, E., Ira, A., & Taslim, R. (2016) Pengaruh jenis aktivator kimia terhadap densitas dan kapasitansi spesifik elektroda karbon aktif dari serbuk gergaji kayu karet. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF*. **2016**:79–84.
- Taer, E., Oktaviani, T., Taslim, R., & Farma, R. (2015) Karakterisasi Sifat fisika karbon aktif tempurung. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF*. **2015**:97–100.
- Taer, E., Taslim, R., Aini, Z., Hartati, S. D., & Mustika, W. S. (2017) Activated carbon electrode from banana-peel waste for supercapacitor applications. *AIP Conference Proceedings*. **1801**: 040004.
- Taer, E., Zulkifli, Arif, E. N., & Taslim, R. (2016) Analisa kapasitansi spesifik elektroda karbon superkapasitor dari kayu karet terhadap laju scan berdasarkan variasi Aktivasi HNO<sub>3</sub>. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. **1**(1): 35–40.
- Teo, E. Y. L., Muniandy, L., Ng, E. P., Adam, F., Mohamed, A. R., Jose, R., & Chong, K. F. (2016) High surface area activated carbon from rice husk as a high performance supercapacitor electrode. *Electrochimica Acta*. **192**: 110–119.
- Le Van, K., & Luong Thi, T. T. (2014) Activated carbon derived from rice husk by NaOH activation and its application in supercapacitor. *Progress in Natural Science: Materials International*. **24**(3): 191–198.
- Le Van, K., & Luong Thi Thu, T. (2019) Preparation of pore-size controllable activated carbon from rice husk using dual activating agent and its application in supercapacitor. *Journal of Chemistry*. **2019**: 4329609.
- Vangari, M., Pryor, T., & Jiang, L. (2013) Supercapacitors: Review of Materials and fabrication methods. *Journal of Energy Engineering*. **139**(2): 72–79.
- Wang, J., & Kaskel, S. (2012) KOH activation of carbon-based materials for energy storage. *Journal of Materials Chemistry*. **22**(45): 23710–23725.
- Yagmur, E., Ozmak, M., & Aktas, Z. (2008) A novel method for production of activated carbon from waste tea by chemical activation with microwave energy. *Fuel*. **87**(15–16): 3278–3285.
- Yanti, S., Taer, E., & Sugianto. (2014) Efek modifikasi permukaan karbon aktif monolit terhadap sifat fisis dan elektrokimia sel superkapasitor, *Journal Online Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. **1**(2): 161–168.
- Zhang, G., Chen, Y., Chen, Y., & Guo, H. (2018) Activated biomass carbon made from bamboo as electrode material for supercapacitors. *Materials Research Bulletin*. **102**(2010): 391–398. Els
- Zhang, H., Yan, Y., & Yang, L. (2010). Preparation of activated carbon from sawdust by zinc chloride activation. *Adsorption*. **16**(3): 161–166.
- Zhang, S., Shi, X., Wróbel, R., Chen, X., & Mijowska, E. (2019) Low-cost nitrogen-doped activated carbon prepared by polyethylenimine (PEI) with a convenient method for supercapacitor application. *Electrochimica Acta*. **294**: 183–191.
- Zhu, L., Shen, F., Smith, R. L., Yan, L., Li, L., & Qi, X. (2017) Black liquor-derived porous carbons from rice straw for high-performance supercapacitors. *Chemical Engineering Journal*. **316**: 770–777.